

## ТЕРМОУПРОЧНЕНИЕ СТАЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ HARDOX

Хорошавин А.С. \*, Липунов Ю.И. \*\*, Захарченко М.В. \*\*, Советкин В.Л. \*

\*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия  
\*\*ОАО «ВНИИМТ» «Центр новых систем охлаждения и технологий термо-  
упрочнения металлов», г. Екатеринбург, Россия

*Исследованы процессы термической обработки высокопрочной стали Hardox. При нормализации и отпуске сталь разупрочнялась и хорошо механически обрабатывалась. После закалки сталь приобретала высокие показатели твердости.*

*Ключевые слова: Hardox, сталь, разупрочнение, термоупрочнение, нормализация, отпуск, закалка, физические свойства.*

*Are investigated processes of heat treatment the high-strength steel Hardox. At normalization and letting down, steel are softening and was well mechanically processed. After heat treatment steel got high rates of hardness.*

*Keywords: Hardox, steel, softening, thermohardening, normalization, letting down, heat treatment, physical properties.*

Сталь Hardox отличается уникальным сочетанием твердости и прочности [1]. Она позволяет создавать эргономичные и легкие структуры, отличающиеся превосходными эксплуатационными характеристиками и длительным сроком службы. Ее применяют в различных отраслях промышленности. Из нее изготавливают ножи, лопасти для бетоносмесительных установок, телескопические стрелы на автокранах, экскаваторные ковши, зубья для экскаваторных ковшей, устройства дробления и измельчения, контейнеры для сырья, прессы и сепараторы, кузова грузовиков, молоты, гусеницы и т.д. [2].

Из-за высоких характеристик твердости сталь плохо поддается механической обработки. Поэтому проведено изучение процессов получения образцов с пониженными показателями твердости для их механической обработки и последующей закалки.

Для исследования были взяты две пластины Hardox 550 толщиной 15 мм, шириной 125 мм, длиной 300 мм и 280 мм соответственно. Нагрев проводился в печи с двухсторонним боковым отоплением четырьмя горелками КВР-17/53-6 в соответствии с заданным режимом. Нагреваемая в печи пластина располагалась на монолитном поде. После нагрева и выдержки, пластина выдвигалась из печи на раму, имеющую по две водяные форсунки снизу и сверху. При закалке через форсунки под давлением подавалась вода. Скорость охлаждения определялась в соответствии с рекомендованными в работе [3] плотностями орошения, зависящими от тепловой нагрузки. Исходя из расхода воды, устанавливались плотности орошения в  $945 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$  для двух нижних и  $465 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$  для двух верхних форсунок. При охлаждении пластины на воздухе форсунки не включались. Изменение температур пластины фиксировалось с помощью двух термоэлектрических преобразователей, установленных на концах пластины. Для разупрочнения пластин осуществлялись режимы нормализации и отпуска.

Первоначально микроструктура каждого из образцов состояла из отпущенного крупноигльчатого мартенсита (рис. 1).

С поверхности листа наблюдается двухстороннее частичное обезуглероживание глубиной до ~400 мкм (рис. 2). В микроструктуре наблюдается полосчатость (рис. 3).

Разупрочнение первого образца проводилось путем отпуска при температуре 620 °С, выдержке 1,5 ч и охлаждении на воздухе. Твердость стальной пластины по сечению образца составила HB 522–547 до и HB 285 после отпуска. Микроструктура образца – равномерный сорбит отпуска (рис. 4).

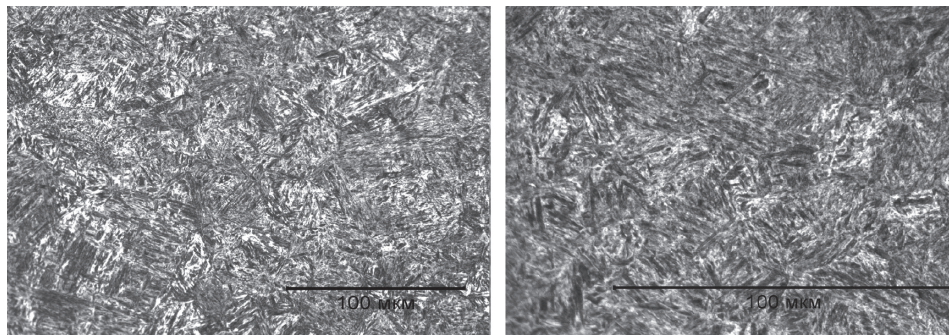


Рис. 1. Микроструктура стальной пластины,  $\times 500$ ,  $\times 1000$

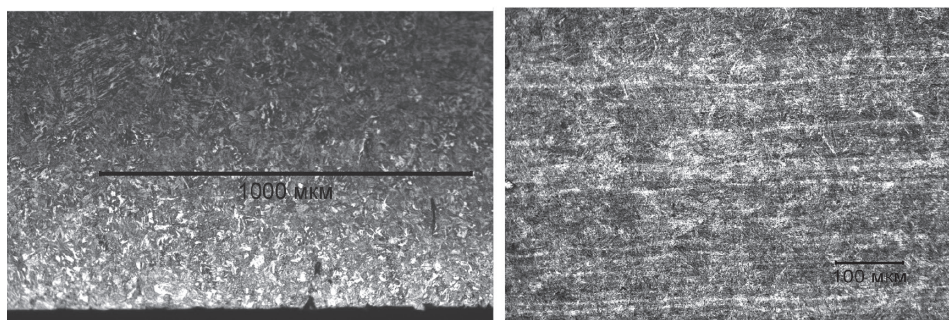


Рис. 2. Обезуглероживание

Рис. 3. Полосчатость

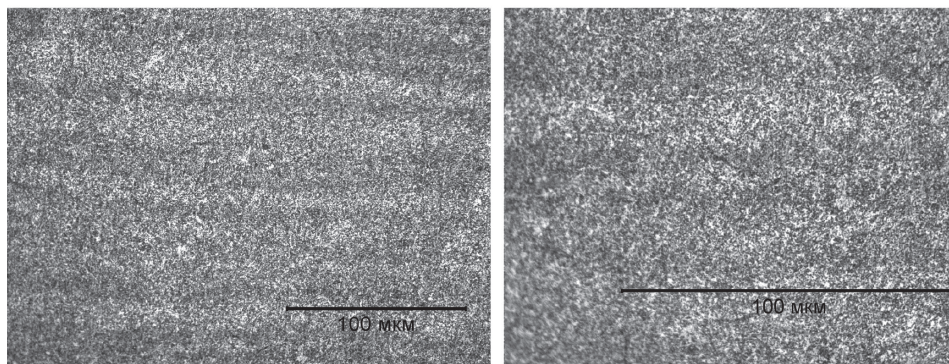


Рис. 4. Равномерный сорбит отпуска,  $\times 500$ ,  $\times 1000$



Разупрочнение второго образца проводилось путем нормализации [4] при температуре 620 °С, выдержке 2 ч и охлаждении на воздухе. Твердость стальной пластины по сечению образца составила HB 522–547 до и HB 275 после отпуска. Микроструктура образца разупрочненного нормализацией практически не отличимая от микроструктуры образца разупрочненного путем отпуска. В микроструктуре наблюдается равномерный сорбит (рис. 4).

После разупрочнения оба образца были термоупрочнены путем [5]. По окончании закалки вновь была исследована структура образцов и измерена их твердость.

В микроструктуре первого образца после отпуска [6] и последующей закалки наблюдается полосчатость (рис. 5). С поверхности листа имеется частичное обезуглероживание глубиной ~300 мкм (рис. 6), слой окалины толщиной ~50 мкм. Микроструктура образца состоит из крупноигльчатого мартенсита (рис. 7). Твердость образца по сечению после термоупрочнения составила HB 601–627.

В микроструктуре второго образца после нормализации и последующей закалки ярко выражена полосчатость (рис. 8). С поверхности листа частичное обезуглероживание глубиной ~300 мкм; имеется также слой окалины толщиной ~130 мкм (рис. 9). Твердость образца по сечению после термоупрочнения составила HB 601–627. Микроструктура второго образца состоит из крупноигльчатого мартенсита (рис. 10).

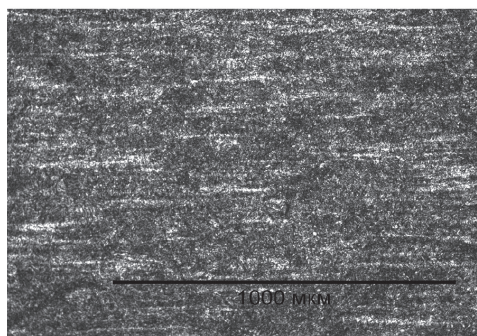


Рис. 5. Полосчатость



Рис. 6. Обезуглероживание

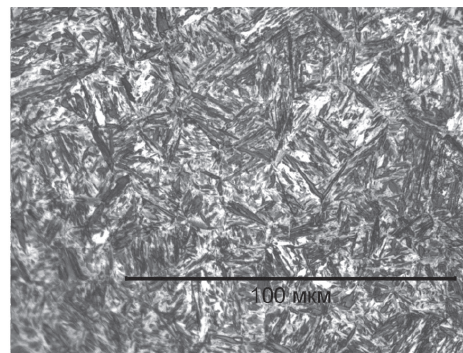
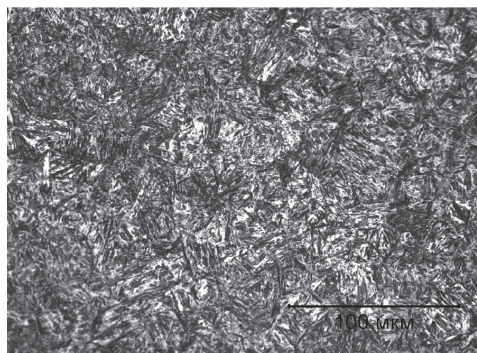


Рис. 7. Микроструктура из крупноигльчатого мартенсита ×500, ×1000

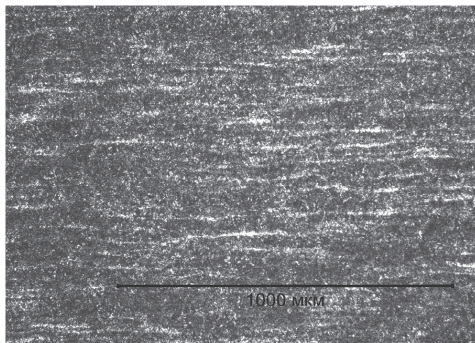


Рис. 8. Полосчатость

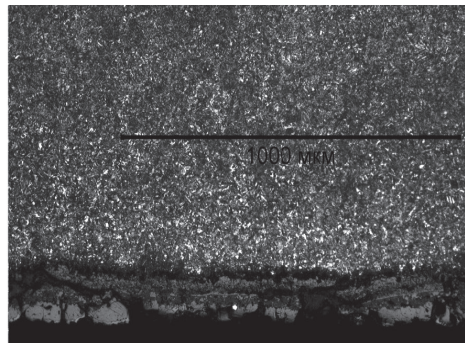


Рис. 9. Обезуглероживание

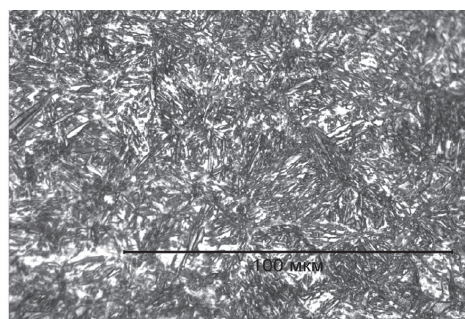
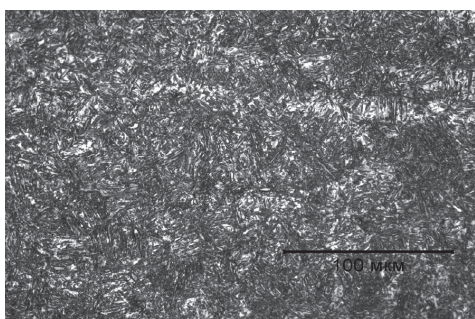


Рис. 10. Микроструктура из крупноиглочатого мартенсита  $\times 500$ ,  $\times 1000$ .

Исследования термообработки стали Hardox 550 показали, что в процессе нормализации и отпуска образцы приобретали относительно более низкую твердость, позволяющую их механически обрабатывать. После закалки первоначальная микроструктура обоих образцов сохранилась, а твердость по сечению значительно увеличилась с HB 522–547 до HB 601–627. Это позволяет рекомендовать режимы термообработки стали Hardox для их реализации на производстве.

#### Список использованных источников

1. Сайт сталелитейной компании SSAB [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.ssab.com/ru>.
2. Сайт стали Hardox [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.hardox.com/ru>.
3. Эйсмонт, К.Ю. Разработка и внедрение в производство устройств термоупрочнения проката регулируемым охлаждением на основе анализа процессов теплообмена: автореф. дис.... канд. тех. Наук: 05.16.01; 05.16.02 / Эйсмонт Константин Юрьевич. – Екатеринбург. – 2011. – 23 с.
4. Лахтин М. Ю. Материаловедение [Текст] / Ю.М. Лахтин. – М.: ООО «Издательский дом Альянс», 2009. – 528 с.
5. Свободная энциклопедия Википедия [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org>.
6. Гуляев А.П. Металловедение [Текст] / А.П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.